

АНОТАЦІЯ

Закаблук С. С. Теплоефективний, звукоізоляційний еко-арболітобетон на композиційному в'язучому з поліфункціональним модифікатором. – на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. - Одеська державна академія будівництва та архітектури. - Одеса, 2025.

Дисертаційна робота присвячена розробці теплоефективних звукоізоляційних еко-арболітобетонів середньої густини 300-1000 кг/м³ при екологічності складових та в цілому еко-арболітобетону, підвищеної міцності на стиск та розтяг при вигині, водостійкості, антисептичності, пожежостійкості на композиційному цементно-вапняно-пуццолановому гідрофобному в'язучому з деревним органічним наповнювачем і заповнювачем, обробленим поліфункціональним модифікатором.

У **вступі** обґрунтовано вибір теми, сформульовано мету і завдання відповідно до об'єкта та предмета дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення роботи, представлено її загальну характеристику і зв'язок з науковими планами та програмами академії, вказано практичне значення отриманих результатів і особистий внесок здобувача, наведені результати апробації дисертаційної роботи та данні про публікації, структуру і обсяг дисертації.

У **першому розділі** проведено аналіз літературних джерел про особливості проектування, хімічної і мінералогічної складів дерево-цементних композиційних матеріалів, їх властивості, напряму розвитку малоповерхового будівництва із застосуванням стінних арболітобетонних блоків, заливного арболітобетону, технічні характеристики будівельних матеріалів на основі арболітобетона. Дослідження, проведені з питань підвищення міцності і водостійкості арболітових будівельних матеріалів на основі деревного наповнювача та заповнювача, досі не систематизовані, розрізнені і загального комплексного рішення за технологією підвищення міцності, водостійкості,

антисептичності та пожежостійкості не мають. Проведений огляд та аналіз світового та вітчизняного ринків арболітобетону та історія його винаходу, використання та виробництва. Розглянуті перспективи дослідження арболітобетону та висунута робоча гіпотеза дослідження.

У **другому розділі** розглянуто теоретичні основи дослідження. В основі цього дослідження лежать теорія пізнання, теорія самоорганізації та статистична теорія нерівноважних процесів, синергія, теорія фазових переходів та багатомірності простору. Розроблена загальна блок-схема експериментальних досліджень. Обрані екологічні матеріали, що використовуються для виготовлення еко-арболітобетону, а також методи, методики які включають комплекс сучасних методів дослідження: експериментально-лабораторні методи для визначення фізико-механічних, тепло- та звукоізоляційних властивостей; оптичну та електронну мікроскопію для вивчення мікроструктури; диференціально-термічний аналіз для оцінки термостійкості; капілярно-пористу та контактну-крапельну діагностику для аналізу водостійкості.

У **третьому розділі** розглядається вибір та обґрунтування целюлозоємних наповнювача та заповнювачів для еко-арболітобетонів та їх мінералізація. Розглянуті види мінералізації та обґрунтован вибір термовакuumного методу з обробкою поліфункціональним модифікатором як найбільш ефективний вид мінералізації відходів деревини для досягнення спеціальних властивостей еко-арболітобетону, як гідрофобність, пожежостійкість та стійкість до біологічного впливу. Термовакuumний метод імпрегнації дозволяє забезпечити ці властивості по всій товщині матеріалу. Розглянут принцип дії гідрофобізаторів нового покоління на поверхні органічного наповнювача та заповнювача. Який забезпечує підвищену гідрофобність еко-арболітобетону на рівні куту змочування на рівні 120-123 градуси.

В **четвертому розділі** розроблен склад еко-арболітобетону на мультікомпозиційному порізованому в'язучому. За допомогою методів та

методик розглянутих в другому розділі визначені такі параметри еко-арболітобетону як рухомість, зміна механичних властивостей з часом на протязі семи років, коефіцієнт спінювання та рН суміші, густини, теплопровідності, звукоізоляційних властивостей, гідрофобності, міцності на розтяг при чотирьохтоковому вигині та міцності на стиск. Проведено глибокий аналіз мікроструктур еко-арболітобетону на усіх технологічних етапах виробництва еко-арболітобетону різної густини 300, 50 і 1000 кг/м³, розроблені та скореговані склади.

В **п'ятому розділі** наведено технологічну схему модифікації відходів деревообробки, схему виробництва еко-арболітобетонних блоків, розроблене автором обладнання та технологічні алгоритми, розрахунок собівартості та економічне обґрунтування виробництва еко-арболітобетону, а також економічний аналіз конкурентоспроможності матеріалу. Наведений состав розробленого обладнання, послідовність його використання в виробничому процесі, розроблена технологічна лінія виробництва еко-арболітобетонних стінових блоків потужністю 30000 м³ на рік.

У **шостому розділі**, у якому аналізується екологічна ефективність та застосування еко-арболітобетону у сучасному будівництві відповідно до принципів Green Building, технології Супер-еко, мінімізації викидів CO₂ в атмосферу та порівнюються отримані показники еко-арболітобетону з аналогічними теплоізоляційними матеріалами. Розглянуті питання переваги еко-арболітобетону при зведенні стін, захист навколишнього середовища, теплові характеристики та переваги теплової інерції, вогнестійкість та акустичні властивості. Наведено переваги каркасного будівництва в поєднанні з еко-арболітобетоном. Адже можна використовувати еко-арболітобетон густині 500-550 кг/м³, у поєднанні з дерев'яним каркасом (або сталевим, або бетонним). Таким чином, каркас забезпечує опору для вертикальних навантажень покрівлі та верхніх поверхів і визначає поверховість будівлі. Еко-арболітобетон можна використовувати, частково або повністю, для

забезпечення стійкості каркаса до струсного навантаження залежно від конкретної будівлі та проектної галузі застосування.

Висновки. Отримані результати свідчать, що за допомогою кремній-органічного гідрофобізатора, поліфункціонального модифікатора, технології паралельно-послідовного турбулентного змішування з механо-хімічної активацією та технології термо-вакуумної імпрегнації можливо створити новий теплоізоляційно-конструкційний еко-арболітобетон з органічним деревним наповнювачем та заповнювачем на композиційному в'язучому з підвищеними принциповими властивостями як екологічність, вологостійкість, негорючість, стійкість до біологічного впливу, теплоефективність, звукоізоляційність та міцність.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці ефективної технології виготовлення еко-арболітобетону з удосконаленими теплоізоляційними та звукоізоляційними характеристиками, який відповідає вимогам сучасного «зеленого» будівництва як заливний теплоізоляційний матеріал для каркасного, модульного будівництва та адитивних технологій з відходів деревообробки.

Реалізовано технологію глибокої термовакuumної імпрегнації деревного заповнювача з підвищеною гідрофобізацією, а також впроваджено каскадне змішування з мікропуцолановими домішками, що забезпечує стабільність фізико-механічних показників.

Розроблено та виготовлено обладнання для окремого приготування багатоматричного в'язучого та суміші з модифікованим деревинним заповнювачем за допомогою каскадного дворівневого трьохконтурного турбулентного змішувача, технологія сухих будівельних сумішей для приготування та заливки еко-арболітобетону на будівельному майданчику без тепло-вологісної обробки.

Запропоновані рецептури сумішей модифікованих еко-арболітобетонів дозволяють варіювати густину у межах 300–1000 кг/м³ відповідно до функціонального призначення конструкцій для різних застосувань з

підвищеною екологічністю, енергоефективністю, звукоізоляцією, міцністю, довговічністю, гідрофобністю, антипиренністю та біологічної стійкості, а саме:

- густина 300-450 кг/куб м -залівний утеплювач, переважно для утеплювання покривель та заливку в незнімну опалубку;
- густина 500-550 кг/куб м -конструкційно-теплоізоляційний еко-арболітобетон для заповнення стінових панелів та заливки блоків;
- густина 900-1000 кг/куб м – конструкційно-теплоізоляційний еко-арболітобетон для утеплювання підлоги.

Матеріал апробовано у виробничих умовах на базі ТЗОВ «Будспецстандарт» (м. Львів), де виготовлено та протестовано дослідну партію панелей і залівних форм, а саме, зовнішніх теплоізоляційних панелів розміром 2000x1000x50мм, розміром 3000x1250x40мм ламінованих композитобетоном в кількості 50 м². Проведено техніко-економічне обґрунтування рентабельності виробництва еко-арболітобетону, собівартість 1 м³ якого, для D300, у березні 2025 року становила 2789 грн., що на 30% нижче середньої ринкової вартості.

Ключові слова: еко-арболітобетон, арболітобетон, теплоізоляційний матеріал, звукоізоляційний матеріал, екологічний утеплювач, гідрофобизатор, антипирен, антисептик, композиційне в'язуче, поліфункціональний модифікатор, турбулентний змішувач, імпрегнація, диспергатор.

ABSTRACT

Zakabluk S. S. Heat-efficient, soundproof eco-arbolite concrete on a composite binder with a polyfunctional modifier. - as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 192 - Construction and civil engineering. - Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture. - Odesa, 2025.

The dissertation is devoted to the development of heat-effective soundproof eco-arbolitobetons of average density of 300-1000 kg/m³ with environmental

friendliness of the components and, in general, eco-arbolitobeton, increased compressive and tensile strength during bending, water resistance, antisepticity, fire resistance on composite cement-lime-pozzolan hydrophobic in 'binder with wood organic filler and filler treated with polyfunctional modifier.

In the introduction, the choice of the topic is justified, the purpose and tasks are formulated in accordance with the object and subject of research, the scientific novelty and practical significance of the work are determined, its general characteristic and connection with the scientific plans and programs of the academy are presented, the practical significance of the results obtained and the personal contribution of the applicant are indicated, the results of the approbation of the dissertation work and the data on publications, the structure and volume of the dissertation are given.

In the first section, an analysis of literary sources about features of design, chemical and mineralogical compositions of wood-cement composite materials, their properties, directions of development of low-rise construction with the use of wall arbolite concrete blocks, poured arbolite concrete, technical characteristics of building materials based on arbolite concrete. Studies conducted on improving the strength and water resistance of arbolite building materials based on wood filler and aggregate have not yet been systematized, scattered and a common integrated solution for the technology of increasing strength, water resistance, antisepticity and fire resistance do not have. The review and analysis of the world and domestic markets of arbolitobeton and the history of its invention, use and production. Prospects for the study of arbolite concrete and the working hypothesis of the study are considered.

The second section discusses the theoretical basis of the study. This research is based on the theory of knowledge, the theory of self-organization and the statistical theory of non-equilibrium processes, synergy, the theory of phase transitions and multidimensionality of space. A general flow diagram of experimental research has been developed. Selected ecological materials used for the manufacture of eco-arbolitobeton, as well as methods that include a complex of modern research

methods: experimental and laboratory methods for determining physical, mechanical, heat and sound insulation properties; optical and electron microscopy to study microstructure; differential thermal analysis to assess heat resistance; capillary-porous and contact-drop diagnostics for water resistance analysis.

The third section discusses the selection and justification of cellulosic filler and aggregates for eco-arbolitobetones and their mineralization. Scattered types of mineralization and justified the choice of the thermal vacuum method with treatment with a polyfunctional modifier as the most effective type of wood waste mineralization for attaining special properties of eco-arbolitobeton, as hydrophobicity, fire resistance and resistance to biological effects. The thermo-vacuum method of impregnation allows you to capture these properties throughout the thickness of the material. The principle of operation of new generation hydrophobizators on the surface of organic filler and aggregate is considered. Which provides increased hydrophobicity of eco-arbolitobeton at the level of the wetting angle at the level of 120-123 degrees.

In the fourth section, the composition of eco-arbolitobeton on a multicomposite chopped binder is developed. Using the methods and techniques described in the second section, the following parameters of eco-arbolitobeton were determined: mobility, change in mechanical properties over time for seven years, foaming coefficient and pH of the mixture, density, thermal conductivity, sound insulation properties, hydrophobicity, tensile strength at four-current bending and compressive strength. Deep analysis of microstructures of eco-arbolitobeton at all technological stages of production of eco-arbolitobeton of different density of 300, 50 and 1000 kg/m³ was carried out, compositions were developed and adjusted.

The fifth section presents the technological scheme of modification of wood processing waste, the scheme of production of eco-arbolitobeton blocks developed by the author of the equipment and technological algorithms, the calculation of cost and economic justification of production of eco-arbolitobeton, as well as economic analysis of the competitiveness of the material. The presented composition of the developed equipment, the sequence of its use in the production process, a

technological line for the production of eco-arbolite concrete wall blocks with a capacity of 30,000 m³ per year has been developed.

In the sixth section, which analyzes the environmental efficiency and application of eco-arbolitobeton in modern construction in accordance with the principles of Green Building, Super-eco technology, minimization of CO₂ emissions into the atmosphere and compares the obtained indicators of eco-arbolitobeton with similar thermal insulation materials. The issues of advantages of eco-arbolitobeton in the construction of walls, environmental protection, thermal characteristics and advantages of thermal inertia, fire resistance and acoustic properties are considered. The advantages of frame construction in combination with eco-arbolitobeton are given. After all, you can use eco-arbolitobeton density of 500-550 kg/m³, in combination with a wooden frame (either steel or concrete). Thus, the frame provides support for vertical loads of the roof and upper floors and determines the number of storeys of the building. Eco-carbolite concrete can be used, partially or completely, to ensure that the frame is resistant to shaking load, depending on the specific building and design application.

Conclusions. The obtained results indicate that with the help of silicon-organic hydrophobizer, polyphunational modifier, technology of parallel-serial turbulent mixing with mechano-chemical activation and technology of thermo-vacuum impregnation it is possible to create a new heat-insulating-structural eco-arbolitobeton with organic wood filler and filler on the composite layer binder with increased principal properties as environmental friendliness, moisture resistance, incombustibility, resistance to biological effects, heat efficiency, sound insulation and strength.

The practical value of the obtained results lies in the development of an effective technology for the production of eco-arbolite concrete with improved thermal insulation and sound insulation characteristics, which meets the requirements of modern "green" construction as a poured thermal insulation material for frame, modular construction and additive technologies from woodworking waste.

The technology of deep thermal vacuum impregnation of wood aggregate with increased hydrophobization was implemented, and cascade mixing with micropulverized impurities was introduced, which ensures stability of physical and mechanical parameters.

Equipment was developed and manufactured for separate preparation of multi-matrix binder and mixture with modified wood filler by means of cascade two-level three-circuit turbulent mixer, technology of dry building mixtures for preparation and pouring of eco-arbolite concrete at the construction site without heat-moisture treatment.

The proposed formulations of mixtures of modified eco-arbolite concrete allow to vary the density within 300-1000 kg/m³ in accordance with the functional purpose of structures for various applications with increased environmental friendliness, energy efficiency, sound insulation, strength, durability, hydrophobicity, anti-resistance and biological resistance, namely:

- density 300-450 kg/cubic meter - fuel insulation, mainly for insulation of covers and pouring into non-removable formwork;
- density 500-550 kg/cubic meter - structural and heat-insulating eco-reinforced concrete for filling wall panels and filling blocks;
- density 900-1000 kg/cubic meter - structural and thermal insulation eco-arbolite concrete for floor insulation.

The material was tested in production conditions on the basis of Budspetsstandart Ltd. (Lviv), where an experimental batch of panels and casting molds, namely, external heat-insulating panels 2000x1000x50mm in size, 3000x1250x40mm laminated with composite concrete in an amount of 50 m², was manufactured and tested. A feasibility study of the profitability of production of eco-arbolitobeton, the cost³ 1 of which, for D300, in March 2025 amounted to 2789 UAH, which is 30% lower than the average market value.

Key words: eco-arbolitobeton, arbolitobeton, thermal insulation material, sound insulation material, environmental insulation, hydrophobizer, fire retardant,

antiseptic, composite binder, polyfunctional modifier, turbulent mixer, impregnation, dispersant.